

Szczecin 28.02.2022

Prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin

**Recenzja pracy doktorskiej pt. ” Badania odkształceń statycznych  
wybranych węzłów konstrukcyjnych obrabiarek do obróbki zestawów  
kolejowych” autorstwa mgr inż. Tomasza Pochopień.**

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia RD(IMe)-10/006/2020/2021 Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak z dnia 20.10.2021r.

**1. Przedstawienie treści pracy**

Jednym z ważnych branż przemysłu maszynowego jest branża produkcji obrabiarek. Współczesne obrabiarki numeryczne to jeden z głównych elementów linii produkcyjnych i można je śmiało nazwać „matkami maszyn”, bo za ich pomocą w dużej części wytwarzane są komponenty innych maszyn produkcyjnych oraz produkowanych wyrobów. Nowoczesne obrabiarki skrawające systematycznie zwiększają swoją produktywność przy zachowaniu wysokich reżimów dokładności obróbki. Na dokładność obrabiarki wpływ ma wiele czynników jak: sztywność statyczna i dynamiczna konstrukcji nośnej, odporność na odkształcenia cieplne, jakość wykonania obrabiarki czy jakość systemu jej sterowania. Wysokie wymogi dokładności obrabiarek skrawających sprawiają, że komponenty układu nośnego obrabiarki ocenia się nie z uwagi na wytrzymałość ale na sztywność konstrukcji – kryterium to jest znacznie bardziej wymagające. Prace konstruktorów obrabiarek wspomagane są obecnie przez numeryczną symulację własności statycznych i dynamicznych projektowanej konstrukcji. Z drugiej strony wiele uwagi poświęca się badaniom eksperymentalnym służącym do oceny konstrukcji, identyfikacji modeli oraz diagnostyki i kompensacji odkształceń obrabiarki. Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w tę bardzo interesującą tematykę, niezmiernie ważną dla rozwoju nowoczesnych obrabiarek CNC konwencjonalnych i specjalnych. Pan mgr inż. Tomasz Pochopień podejmuje się realizacji badań nad problematyką pomiarów eksperymentalnych

oraz symulacji numerycznych sztywności statycznej konstrukcji układu nośnego obrabiarek do obróbki kół zestawów kolejowych. W recenzowanej pracy Autor zaproponował metodologię badania i analizy sztywności technologicznej obrabiarek oraz analizę możliwości wprowadzenia zmian konstrukcyjnych z uwzględnieniem wysokich wymagań w odniesieniu do sztywności konstrukcji nośnej. Autor analizował dwie obrabiarki do obróbki zestawów kołowych: obrabiarkę podtorową typu UGE 180N oraz obrabiarkę portalową typu UFD 140N. Badania tej problematyki są szczególnie ważne dla obrabiarek specjalnych, wielkogabarytowych z uwagi na małoseryjny charakter ich produkcji często realizowanej na specjalne zamówienie.

Opiniowana praca doktorska liczy 142 strony i składa się z dziesięciu rozdziałów, wykazu ważniejszych pojęć i oznaczeń oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Na końcu zamieszczono spis literatury zawierający zestaw 99 cytowanych pozycji literaturowych. Dobór źródeł literaturowych jest bardzo pobieżny i nie ilustruje aktualnego stanu badań. Spośród 99 pozycji literaturowych tylko 44 pozycje to artykuły naukowe z czego 24 pozycje to publikacje zespołu z ośrodka gliwickiego. Jeszcze gorzej sytuacja wygląda jeżeli przyjrzeć się tematyce tych artykułów. Zagadnień analizy sztywności konstrukcji obrabiarkowych dotyczą prawie wyłącznie publikacje z ośrodka gliwickiego (tylko jedna z nich – publikacja Autora pracy – jest nową publikacją, reszta jest z 10 letnim stażem), zaledwie siedem pozycji jest z innych ośrodków badawczych – wszystkie sprzed 10 lat. W literaturze światowej w ostatnich dziesięciu latach pojawiło się wiele interesujących pozycji dotyczących tej tematyki. Odnosi się wrażenie, że przegląd literatury jest bardzo archiwalny. Autor nie przeanalizował wnikliwie dostępnych źródeł. Wyciągnięte wnioski o konieczności kontynuacji badań w tym obszarze są prawidłowe ale nie uwzględniają bieżące stanu zagadnienia.

Poszczególne rozdziały rozprawy doktorskiej obejmują: wprowadzenie, analizę literatury, cel i tezy pracy oraz siedem rozdziałów merytorycznych zakończonych wnioskami końcowymi. W pierwszym rozdziale rozprawy Autor definiuje problem, a w następnym rozdziale przedstawia analizę stanu zagadnienia. W rozdziale trzecim Autor przedstawia cele i zakres pracy. Zarówno cel pracy jak i jej teza mają bardzo praktyczny charakter i bardzo mocno koncentrują prace nad badaniem konkretnych rozwiązań technicznych. Z jednej strony użyteczność pracy jest jej zaletą, z drugiej zaś strony ogranicza poziom naukowy, bo nie prowadzi do uogólnień wyników badań. Przyjęty cele i zakres pracy są adekwatne do rozwiązywanych problemów.

W rozdziale czwartym Autor przedstawił charakterystykę techniczną obrabiarek, które były obiektem jego badań. Opis dotyczy dwóch maszyn: obrabiarki podtorowej typu UGE 180N oraz obrabiarki portalowej typu UFD 140N.

W kolejnym, piątym rozdziale opisane zostały badania doświadczalne sztywności statycznej wybranego węzła konstrukcyjnego obrabiarek. Zaprezentowano stanowisko badawcze i opisano procedurę badania obydwu wspomnianych obrabiarek. Ponadto Autor przedstawił wyniki pomiarów oraz ich analizę pod kątem wyznaczenia wybranych wskaźników sztywności.

Rozdział szósty zawiera wyniki badań analitycznych. Autor zbudował modele symulacyjne obu obrabiarek w konwencji metody elementów skończonych w środowisku obliczeniowym programu CAD *Solidworks*. Modele te posłużyły do wyznaczenia wybranych wskaźników sztywności konstrukcji nośnej obrabiarek w szerszym zakresie niż to zrealizowano w ramach badań doświadczalnych.

W kolejnym rozdziale siódmym Autor prezentuje zestawienie wyników badań symulacyjnych oraz badań eksperymentalnych. W rozdziale przeprowadzono dyskusję otrzymanych wyników oraz wytypowano elementy konstrukcyjne układu nośnego obrabiarek do dalszej analizy pod kątem modyfikacji ich konstrukcji.

Rozdział ósmy prezentuje analizę wpływu uzyskanych wartości odkształceń konstrukcji nośnej obrabiarek na dokładności obróbki. Analizowane są błędy toczenia tarcz hamulcowych oraz błędy profilu koła.

W rozdziale dziewiątym Autor zaprezentował proces optymalizacji metodą topologiczną wybranych elementów konstrukcyjnych obu obrabiarek. Celem tych badań było zmniejszenie masy optymalizowanych elementów przy zachowaniu ograniczeń sztywności konstrukcji. Ponadto zaprezentowano działania zmierzające do uzyskania rozwiązania ostatecznego z uwzględnieniem ograniczeń technologicznych.

W ostatnim rozdziale dziesiątym Autor zamieścił wnioskami końcowymi, w których podsumował wyniki poszczególnych etapów prac badawczych. Na tej podstawie zostały wyciągnięte wnioski dotyczące osiągnięcia założonych celów pracy oraz wskazane etapy dalszych badań.

Podsumowując można stwierdzić, że na podstawie zaprezentowanej analizy wyników badań numerycznych i eksperymentalnych Autor rozwiązał postawiony problem i uzyskał rozwiązanie konstrukcyjne układu nośnego obu obrabiarek o polepszonych parametrach technicznych.

## 2. Oryginalne osiągnięcia pracy

Głównym atutem pracy doktorskiej Pana Tomasza Pochopień jest wdrożeniowy charakter prezentowanych wyników badań. Autor sprawnie posługuje się narzędziami w zakresie komputerowego modelowania i symulacji cyfrowych złożonych problemów technicznych. Autor prace projektowe wspiera badaniami eksperymentalnymi. W ramach pracy przeprowadzono pomiary doświadczalne sztywności technologicznej obrabiarki podtorowej typu UGE 180N oraz obrabiarki portalowej typu UFD 140N, wykazując przy tym umiejętności planowania badań eksperymentalnych w trudnych warunkach produkcyjnych. Silne ukierunkowanie wdrożeniowe osłabiło poziom naukowy pracy. Zastosowane przez Autora techniki pomiaru sztywności obrabiarek oraz symulacje MES układu korpusowego obrabiarek (w dodatku w środowisku symulacyjnym o charakterze inżynierskim) nie mają znamion oryginalnych osiągnięć naukowych. Patrząc od strony naukowej należy stwierdzić, że wyniki zrealizowanych pomiarów i symulacji numerycznych dla specjalistycznych tokarek do zestawów kolejowych w prawdzie nie są nowatorskie ale ich skala i zakres stanowią interesujący przykład wdrożenia procedur kształtowania sztywności technologicznej nowoprojektowanych obrabiarek specjalistycznych. Zatem wyniki pracy są ciekawym przykładem zastosowania pewnych technik badawczo-symulacyjnych i można uznać to za oryginalne osiągnięcie tej pracy.

Mając świadomość wdrożeniowego charakteru recenzowanej pracy doktorskiej skłaniam się ostatecznie do jej pozytywnej oceny, szczególnie wyróżniając implementacyjny charakter jej osiągnięć.

## 3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Do uwag dyskusyjnych i krytycznych zaliczyłbym:

1. Str.17, Autor podaje definicję sztywności dynamicznej jako stosunek sztywności statycznej do jakiegoś współczynnika dynamicznego. Odnoszę wrażenie, że mocno mijają się z prawdą ponieważ sztywność statyczna jest szczególnym przypadkiem sztywności dynamicznej uwzględniającej oprócz sił sprężystości również oddziaływania tłumiące oraz bezwładnościowe (pojawiające się w ruchu). Co zatem Autor miał na myśli w podanej przez siebie definicji?
2. Str. 18, Autor uzasadnia kluczowy charakter wskaźnika sztywności w jednym kierunku Y jako mający największy wpływ na dokładność obróbki. Uważam, że jest to zbyt dalekie

uogólnienie. Po pierwsze, Autor w całej pracy sprowadza sztywność obrabiarki do tzw. sztywności technologicznej w punkcie styku narzędzie-przedmiot obrabiany, nie do końca to definiując (trzeba się domyślać z kontekstu). Trzeba mieć jednak świadomość, że sztywność technologiczna jest złożeniem przestrzennym odkształceń w wieku węzłach konstrukcyjnych i przez to może w złożony sposób wpływać na wynikową sztywność technologiczną. Zatem analizując „budżet sztywności”, w którym siły w innych kierunkach mogą oddziaływać poprzez odkształcenia skrętne na sztywność technologiczną, można prawidłowo ocenić wpływ obciążeń od sił skrawania na przemieszczenia względne narzędzie-przedmiot obrabiany.

3. Podane w pracy wzory od 7 do 10 są bardzo podstawowe i banalne, nie mają większego praktycznego zastosowania w odniesieniu do obrabiarek z uwago na przestrzenny charakter odkształceń konstrukcji nośnej. Są to wzory podstawowe dla prostych przykładów dydaktycznych i raczej w rozprawie doktorskiej nie ma dla nich miejsca. Analogicznie wzory 11 do 18 wyrwane z kontekstu nic nie wnoszą do pracy. Nie jest zrozumiały wzór 11, a wzór 12 jest zupełnie nieprawidłowy.
4. Str. 20, przedostatni akapit; Autor podaje, że można zastosować siłomierz analogowy albo piezoelektryczny. Co Autor ma na myśli? Siłomierz piezoelektryczny też jest analogowy.
5. Str. 20 i 21, ostatni akapit i rys.2.11. Pomiar przemieszczeń zespołów korpusowych nie musi, jak podaje Autor, sprowadzać się do pomiarów względem specjalnych rusztowań. Gdyby Autor wnikliwie przestudiował literaturę to by wiedział, że możliwy jest pomiar względny odkształceń poszczególnych zespołów. Pomiar taki wymaga odpowiednich założeń odnośnie podziału konstrukcji na elementy bryłowe i uwzględnienia efektów odkształceń skrętnych. W tym kontekście pokazany na rys.2.11 schemat pomiarów nie ma wielkiego sensu, bo ustawienie jednego czujnika na wrzecienniku obrabiarki nic nam nie mówi o jego rzeczywistych przestrzennych składnikach odkształceń.
6. Str.40, drugi akapit; Autor wskazuje, że z jednej strony przykładu siłownik do narzędzia a z drugiej strony do jakiegoś sztywnego elementu. Każda obrabiarka przenosi siły skrawania w siłowym obiegu zamkniętym. Siła skrawania z jednej strony działa na narzędzie a z drugiej na przedmiot obrabiany. Najlepszym rozwiązaniem jest przyłożenie siły zgodnie z kierunkiem wypadkowej siły skrawania i pomiar poszczególnych składowych przemieszczeń narzędzia i przedmiotu obrabianego. Dlaczego zatem zastosowano obciążenie jednokierunkowe?
7. Str. 50, rys.5.9-5.10; Z przedstawionych fotografii i rysunków wynika, że obciążany był tylko imak narzędziowy. Uwaga ta jest powiązana z uwagą nr 6. Siła działająca na imak,

działa też na koło pojazdu, następnie przez rolki przenosi się na korpus obrabiarki. Ponadto w badaniach brak jest obciążenia na rolki od ogromnej masy zestawu kolejowego najjeżdżającego na tokarkę podtorową oraz sił docisku napędu ciernego. Tak duże obciążenie zmienia zupełnie stan odkształceń w całej konstrukcji oraz parametry sztywnościowe zespołów, które zostały silnie napięte dużym obciążeniem. Czy można, tak bez wpływu na dokładność pomiaru, pominąć tak istotne oddziaływania siłowe?

8. Str.70 tabela 5.5; zamieszczone w tabeli wyniki pomiarów sztywności są wielokrotnie niższe od wyników prezentowanych w tabeli 5.3 (o dwa rzędy), warto aby Autor to skomentował, czy nie jest to poważny błąd konstrukcyjny. Taka dysproporcja sztywności technologicznej wskazuje, że albo część konstrukcji jest zbyt podatna, albo inna część konstrukcji jest nadto przesztywniona.
9. Zastosowanie systemu *Solidworks* do modelowania tak złożonej konstrukcji budzi moje poważne obawy. Pakiet ten ma bardzo uproszczony moduł obliczeniowy MES, pozbawiony wielu zaawansowanych funkcjonalności, dostosowany do zdecydowanie mniej złożonych obliczeń inżynierskich. Rozumiem, że w warunkach przemysłowej praktyki inżynierskiej tego typu oprogramowanie jest preferowane (z różnych względów: stosunkowo niskiej ceny, łatwiejszej obsługi). Szkoda, że autor nie dokonał pełnej identyfikacji modelu przestrzennego „budżetu sztywności” w poszczególnych węzłach konstrukcyjnych z zastosowaniem bardziej zaawansowanego oprogramowania do modelowania MES. Na tej podstawie można porównać wyniki z systemem *Solidworks* i ocenić czy takie uproszczone podejście umożliwia ocenę analityczną sztywności konstrukcji obrabiarkowej w warunkach praktyki przemysłowej. Takie podejście zdecydowanie podniosłoby walory naukowe rozprawy. Porównanie wyników z symulacji w tak uproszczonym programie z wynikami pomiarów jedynie sztywności technologicznej nie daje całkowitej pewności czy zawsze można zastosować takie uproszczone podejście. Autorowi wprawdzie udało się dokonać pozytywnych modyfikacji konstrukcji, ale nie mam pewności, że jest to wynik optymalny i czy osiągnięty sukces nie wynika ze specyfiki konstrukcji badanych obrabiarek.
10. Str.80-83, rys.6.9-6.13; W modelu symulacyjnym MES również nie uwzględniono obciążenia od przedmiotu obrabianego (pojazdu szynowego), który poprzez system rolek działa na korpus główny obrabiarki (analogicznie jak w badaniach doświadczalnych – patrz uwaga 7). Czy takie uproszczenie jest dopuszczalne?
11. Str.83, ostatni akapit; Autor do określenia wskaźników sztywności zastosował przemieszczenia wyznaczone z modelu MES i jest to oczywiste i poprawne. Następnie na

rys.6.14 pokazał kolorowe mapy przemieszczeń. Z punktu widzenia poszukiwania słabych ogniw konstrukcji, analiza map przemieszczeń prowadzi do błędnych wniosków. Aby wykryć słabe ogniwo konstrukcji należy analizować odkształcenia węzłów konstrukcyjnych bo to one wskazują jak pracuje konstrukcja i gdzie są jej słabe ogniwa. Przemieszczenia narzędzia są wynikiem odkształceń w wielu węzłach i zawsze na końcu efektora będą największe. W efekcie otrzymamy na graficznej prezentacji, że imak jest gorący (żółty) a pozostałe elementy korpusowe są zimne (niebieskie). Patrząc na mapę odkształceń można zaobserwować rzeczywisty „budżet odkształceń” i słabe ogniwo konstrukcji. Być może jest nim suport obrabiarki oraz suwaka do toczenia tarcz hamulców (jak wskazały przemieszczenia) ale bez analizy odkształceń takiej pewności nie mamy.

12. Str. 94, rys.7.1-7.3, jak należy rozumieć kolejne słupki tego samego koloru? Czy to są kolejne wyniki pomiarów tej samej wielkości? Jeżeli tak to jak Autor wytłumaczy tak duży rozrzut wyników, np. na rys.7.3 mamy 70,73 kN/mm i 150,5 kN/mm – różnica ponad dwukrotna. W tym samym kontekście patrząc na wyniki pomiaru sztywności dla suwaka do toczenia tarczy hamulcowej (rys.7.10) pomiar jest bardzo ustabilizowany. Czym taki stan rzeczy wytłumaczyć?
13. Str. 104, wzory 31; jeżeli siły skrawania mogą osiągać takie duże wartości (48,8 kN) to dlaczego w symulacjach konstrukcję obciążono zaledwie siłą 2 kN i w dodatku taką samą na wszystkich kierunkach? Ponadto we wzorze 33, dla tej samej płytki skrawającej przyjęto zupełnie inne warunki obciążenia. Czym to jest podyktowane?
14. Str.109 -110, rys. 8.10 i rys. 8.12; Analizując błąd przy toczeniu na tokarce przyjęto dla tokarki UFD 140N przekrój warstwy skrawanej równy  $4 \text{ mm}^2$  (we wzorze 31 deklarowano  $18 \text{ mm}^2$ ), natomiast dla tokarki UGE 180N przyjęto przekrój warstwy skrawanej równy tylko  $2 \text{ mm}^2$  (we wzorze 33 deklarowano  $6 \text{ mm}^2$ ). Skąd te rozbieżności? Dlaczego tokarka UGE 180N ma mniejsze parametry skrawania niż tokarka UFD 140N skoro z analizy sztywności wynika, że UGE 180N jest sztywniejsza?
15. Str.111, rys.8.14; analiza błędu przy toczeniu tarcz hamulca przy stosunkowo małych parametrach skrawania (przekrój warstwy skrawanej  $0,5 \text{ mm}^2$ ), dały zbieżność 0,3 mm na dystansie 200 mm. Nie jest to wynik rewelacyjny dla obrabiarki. Czy taka dokładność jest wystarczająca?
16. Str.112, pierwszy akapit; Autor stwierdza, że optymalizacja topologiczna jest lepsza od optymalizacji parametrycznej i dla podparcia tej tezy powołuje się na pozycję literaturową [93] Prof. Lucjana Tadeusza Wrotnego z 1964 roku. Z całym szacunkiem dla Pana Prof. Wrotnego, ale w czasach gdy pisał tą pracę nie było jeszcze komercyjnego

oprogramowania MES, a o takich możliwościach obliczeniowych, w szczególności w zakresie optymalizacji parametrycznej i topologicznej, jak obecne systemy symulacji numerycznych można było pomarzyć. Skąd zatem pomysł na powołanie się na tak historyczną publikację? Ja nie jestem przekonany, że optymalizacja topologiczna jest lepsza od parametrycznej.

17. Str.119, rys 9.7; fatalna jakość rysunków, które są jednym z kluczowych wyników pracy. Trudno jest analizować te wyniki. Jedna rzecz mnie nurtuje. Patrząc na suwak do toczenia tarcz hamulca o dużym wysięgu, naturalnie nasuwa się rozwiązanie, że aby zwiększyć jego sztywność należy zwiększać jego przekrój idąc ku górze. Tymczasem z optymalizacji wychodzi inaczej. Program sugeruje przewężenie konstrukcji w górnej części. Czy Autor może to wyjaśnić (może analiza odkształceń pokazałaby, że to nie suwak trzeba zmieniać a jego wózki prowadnicowe)? Ponadto autor ogranicza masę suportów, które i tak niewiele ważą, zatem zysk jest niewielki a zgodnie z tabelą 9.5 nieznacznie spadła sztywność konstrukcji. Lepsze wyniki można otrzymać redukując masy korpusów głównych, co sugerują mapy przemieszczeń z rys.6.14. Jednak, jak wcześniej wspominałem, należało przeanalizować odkształcenia (uwaga nr 11) oraz obciążyć korpusy masą pojazdu szynowego (lub zestawu kołowego) (uwaga nr 10).
18. Str. 130, we wniosku nr 5 Autor krytykuje wady metody MES, jednak wyspecyfikowane przez Autora problemy wynikają z faktu, że użył oprogramowania MES z pakietu *Solidworks*, który nie jest oprogramowaniem z najwyższej półki (patrz uwaga nr 9).

Recenzowana praca od strony redakcyjnej ma jeden główny mankament. Wiele ważnych rysunków, ilustrujących kluczowe wyniki badań, jest słabo czytelna, co utrudnia zrozumienie pracy (poniżej wskazałem najważniejsze z nich). Ponadto w trakcie czytania pracy wykryłem pewne drobne błędy redakcyjne:

- Str. 24, 3 akapit; Autor pisze o pracach dotyczących modelowania i nie podaje odniesienia do literatury.
- Str. 35, rys.4.2; rysunek istotny dla zrozumienia pracy o zbyt małej rozdzielczości.
- Str. 41, rys.5.1; kolejny ważny rysunek zupełnie nieczytelny.
- Str.51, rys. 5.8; mało czytelne rysunki ważne dla zrozumienia pracy.
- Str.52, rys. 5.11; niepotrzebny rysunek – nic nie wnosi do rozprawy.
- Str.114-117, rys.9.2-9.6; kolejne ważne rysunki zupełnie nieczytelne



#### 4. Podsumowanie

Podsumowując powyższą recenzję należy stwierdzić, że Autor wykonał imponujący nakład pracy realizując badania doświadczalne sztywności technologicznej obu typów obrabiarek oraz modelując ich konstrukcje nośne metodą MES. Jednak zastosowane metody pomiaru i techniki symulacji są znane nie stanowią nowości naukowej. Ten stan rzeczy istotnie obniża ocenę niniejszej pracy od strony naukowej. Jedyną wartość naukową jaką dostrzegam w tej pracy jest to, iż stanowi ona interesujący pokaz zastosowanie technik eksperymentalnej i symulacyjnej oceny sztywności technologicznej konstrukcji nośnej obrabiarek specjalnych oraz powiązanych z tym procedur modyfikacji konstrukcji nośnej. Dużą zaletą pracy jest natomiast jej charakter implementacyjny. Autor wykazał duże umiejętności w modelowaniu złożonych konstrukcji obrabiarkowych w konwencji MES. Ponadto Autor wykazał duże doświadczenie organizacyjne i merytoryczne w prowadzeniu badań eksperymentalnych w trudnych warunkach przemysłowych. W efekcie końcowym Autor uzyskał rozwiązanie wdrożeniowe o polepszonych parametrach konstrukcyjnych.

**Biorąc pod uwagę wdrożeniowy charakter doktoratu stwierdzam, że w ocenie całościowej praca ta być może nie jest przełomowa, jednak spełnia na poziomie minimalnym wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z zm.). Zrealizowana przez mgr. inż. Tomasza Pochopień praca stanowi autorskie rozwiązanie sformułowanego problemu projektowo-badawczego i wnosi interesujący przykład projektowego zastosowania technik symulacyjno-eksperymentalnych do rozwoju dyscypliny inżynieria mechaniczna. Ponadto zrealizowane prace projektowo-badawcze wskazują na zadowalający poziom wiedzy teoretycznej i praktycznej jej Autora. Reasumując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska może być dopuszczona do publicznej obrony.**

